

## 物探在豫西隐伏金矿找矿中的应用

杨守渠<sup>1</sup>, 乔刚<sup>1</sup>, 李萍<sup>1</sup>, 袁文婷<sup>1</sup>, 张炳顺<sup>2</sup>, 郭建勇<sup>2</sup>

(1. 河南省地质矿产勘查开发局 第一地质调查队, 河南 洛阳 471023; 2. 灵宝金源矿业公司, 河南 灵宝 472500)

**摘要:** 结合成矿地质条件, 简要介绍了磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁法、激电测深在金矿找矿工作中的不同特点和作用; 给出了在豫西几个金矿区多金属成矿带上寻找隐伏金矿体的成功实例, 说明在具备地球物理前提的条件下, 用磁法、甚低频电磁(或瞬变电磁)法快速扫面测量可圈定找矿靶区。在找矿靶区做一定量对称四极激电测深工作, 可预测矿体埋藏深度等; 这是经济、快速地探测浅—深部隐伏、半隐伏矿体的有效方法, 值得推广应用。

**关键词:** 金矿; 磁法; 甚低频电磁法; 瞬变电磁法; 激电测深; 隐伏矿

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2011)04-0455-06

随着金矿勘查工作的日益深入和金矿地质研究程度的不断提高, 露头矿大部分已被人们所发现, 而浅—深部隐伏金矿床就成为主要寻找对象, 找矿难度愈来愈大, 成本愈来愈高。在这种情况下, 使用单一的地质手段寻找金矿床已不能完全适应当前金矿地质所面临的新形势和艰巨任务, 需开展综合信息找矿, 选择有希望的找矿远景靶区或勘探靶区, 通过在靶区中进一步工作探明金矿床或金矿田<sup>[1]</sup>。在豫西小秦岭、熊耳山、崤山、外方山大量科研及找矿实践表明, 综合物探方法在浅—深部隐伏金矿找矿中能够较准确地预测深部矿体的存在和规模, 进而探测矿体埋深、产状, 完成对隐伏矿体空间定位定量预测, 指导工程验证, 减少盲目探矿工程, 加快找矿进程。

### 1 4种物探方法的不同特点和作用

金在地壳中的含量甚微, 其克拉克值仅为  $4 \times 10^{-9}$ , 一般岩石中含金小于  $0.1 \times 10^{-6}$ , 一般金矿石中含金小于  $(10 \sim 50) \times 10^{-6}$ , 自然金不具磁性, 虽属良导体, 但如此低的含量要用物探方法直接探测金几乎是不可能的, 这也是以往找金中物探方法应用较少的重要原因。随着物探仪器灵敏度的提高和物探间接寻找含金硫化物试验的深入研究, 笔者自20世纪90年代以来, 在豫西金银钼多金属成矿带采用高精度地磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁法和激电测深综合物探方法, 在预测寻找隐伏金矿中取得了较好的找矿效果。

磁测具有经济、快速、轻便等优点, 适合在地形条件差的矿区开展大面积普查找矿工作, 用于指示断裂构造和圈定找矿靶区。以往小秦岭、熊耳山地区大量物探找矿、科研成果表明, 金矿带(体)属弱或无磁性, 各类围岩大都具有一定磁性, 含矿断裂构造带经挤压破碎、蚀变、矿化后强烈退磁或消磁, 使矿带(体)的磁性比围岩明显要低, 相应地磁场呈负磁异常特征。以往利用这种异常特征在地面、坑道中找到了大量富金矿体。

甚低频电磁法轻便、快速, 常与磁法同时测量。它是利用世界多地长波电台发射的  $15 \sim 30$  kHz 甚低频电波作为场源, 用甚低频电磁仪测量该电波在地下良导体或磁性感应体中产生二次电流引起感应的二次场的方法, 用于圈定找矿靶区。以往小秦岭、熊耳山地区的大量物探找矿实践表明, 在一定条件下, 倾角( $D$ )滤波后的正高值异常往往为地下矿体的反映。在有利条件下, 测量垂深  $300 \sim 400$  m。

瞬变电磁法的优点是测量结果不受地形影响, 缺点是仪器比较笨重。该方法适合矿区大范围、大深度、大面积的找矿测量工作, 一般用导电体的低电阻率异常圈定深部找矿靶区。

对称四极激电测深方法的仪器比较笨重, 多在矿区详查阶段使用。由以往大量找矿成果可知, 金矿带中的金矿体多显示为明显的低阻、高激电异常。因此, 根据单点视电阻率( $\rho_s$ )、视极化率( $\eta_s$ )等电测深参数曲线的异常特征, 可分析、推断矿带发育情况及矿体的埋藏深度; 根据多点激电测深数据绘制

的断面图异常特征,可分析推断矿带(体)的埋藏深度、产状及其深部变化情况。

## 2 小秦岭预测找金的地球物理标志

### 2.1 小秦岭金矿田地质概况

小秦岭金矿田属豫西金银铅多金属成矿带的西段,位于华北陆块南缘华熊隆起带。小秦岭花岗岩、绿岩地体基底由太古宙绿岩系和时代略晚于绿岩系并侵入其中的古老花岗岩变质形成的一套杂岩组成,绿岩系为金矿矿源层。除第四系外,无其他盖层。后期侵入岩的燕山期黑云母二长花岗岩与成矿关系密切。区内褶皱、断裂构造发育,除南、北边界韧性剪切带外,地体内发育大量近东西向脆—韧性断带和少量北东、北西和近南北向断裂。区内金矿主要受近东西向断裂控制,金矿类型主要为少—中硫化物石英脉型,次为蚀变岩型,矿化主要为含金黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然金、银金矿、自然银等。金矿围岩为各种片麻岩、混合岩、伟晶岩、辉绿岩等。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化、黑云母化等。

### 2.2 磁性标志

由小秦岭大量岩矿石磁参数测定统计结果可知,金矿石无磁性,近矿蚀变围岩为微磁性,碎裂糜棱岩磁性强于蚀变岩且变化范围较大,其余各类岩石磁性较强。

由于遭受蚀变矿化或经构造破碎后的岩石磁性大大减弱,矿石无磁性,致使它们与未蚀变矿化、未破碎岩石之间有一定磁性差异。因此,在具有一定埋深的隐伏含矿构造带上进行磁法测量,相对背景场将会出现磁力低异常,甚至强烈负异常指示标志,从而为磁法寻找金矿或寻找与金矿有关的破碎蚀变带提供了物性前提。

### 2.3 电性标志

小秦岭地区电性测定结果表明,邻近矿体的糜棱岩、碎裂岩等构造岩由于含水, $\rho_s$  较低,其算术平均值为  $72 \sim 245.2 \Omega \cdot m$ ,主要赋矿围岩——混合岩(条带状混合岩)及辉绿岩、伟晶岩等的  $\rho_s$  值较高,其算术平均值为  $429 \sim 2286 \Omega \cdot m$ 。矿带中的石英脉当厚而完整且弱矿化时为高阻特征,当破碎强矿化时为低阻特征,其  $\rho_s$  值在  $9.9 \sim 9152 \Omega \cdot m$  之间变化。由以上可知,含矿构造带、矿体与各类赋矿围岩之间存在明显视电阻率差异,在小秦岭地区具备利用电法(甚低频电磁测量、瞬变电磁测深、对称四极电测深等)寻找含矿构造带及矿体的地球物理前提。

### 2.4 激电标志

由小秦岭岩矿石露头、标本测定结果可知,有开采价值的金矿带的  $\eta_s$  最高,且随其中含多金属硫化物的多少, $\eta_s$  值在  $1.62 \sim 93.16$  间变化,算术平均值高达  $19.82$ ;无矿化或弱矿化的石英脉的  $\eta_s$  值较低,为  $0.21 \sim 5$ ,算术平均值  $3.14$ ;无矿构造带(或构造岩)、混合岩等各类围岩的  $\eta_s$  平均值最低,为  $0.8 \sim 4.38$ 。岩矿石电性测定结果表明,金矿体与围岩间有明显的激电特性差异,故在该区用激发极化法(激电中梯、激电测深等)圈定含金硫化物矿化带和含金硫化物富集带具有良好的地球物理前提。

### 2.5 物探预测找矿标志

根据小秦岭地区以往大量物探找金成果,含金矿带(体)的地球物理标志一般为低磁、低阻、高激电异常和极化椭圆倾角( $D$ )滤波的正高值(良导)异常<sup>[2]</sup>。图1为小秦岭地区地球物理异常模式。熊耳山地区与小秦岭地区多种物探方法显示的金矿异常特征相似。

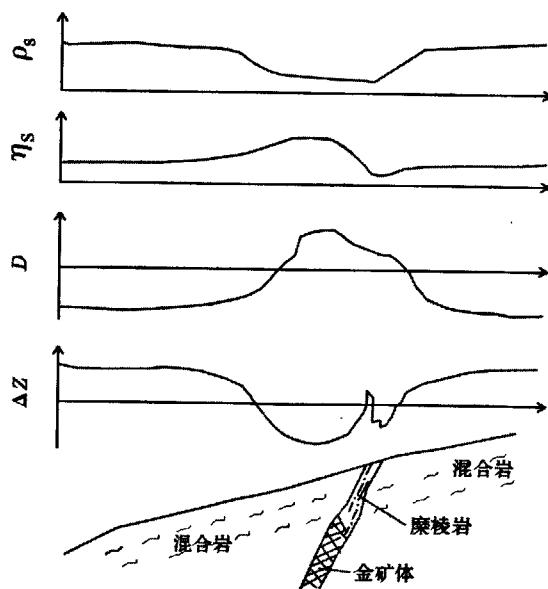


图1 小秦岭金矿地球物理异常模式

## 3 应用实例

### 3.1 小秦岭地区物探预测找金的效果

#### 3.1.1 高精度地面磁测与激电测深配合

灵宝县黄金局涧沟金矿 S21 号脉截止 1988 年已有 10 年的开采历史,1988 ~ 1989 年因探矿坑道见不到矿,矿山已处于停产状态。因地表黄土覆盖厚、地下情况不清,探矿无从下手。1990 年对该矿脉开展地质物探深部预测找矿工作。工作中除了对坑道进行编录采样外,还开展了大比例尺高精度磁法扫面和激电测深。



S21 号脉分布于小秦岭北矿带灵湖峪口,矿脉出露长度大于 300 m,厚 0.3 ~ 0.8 m,总体倾向 320°,倾向角 8° ~ 15°。矿脉沿走向和倾向呈波状延伸,矿石以黄铁石英脉型为主,赋矿围岩主要为混合岩。磁测扫面之前在坑道前方约 100 m 处施测了一条磁测试验剖面,点距 2 m,结果在磁场剖面曲线上出现一开阔的负值磁异常(图 2),且曲线稍有跳动,推断该异常为控矿断裂在埋深约 110 m 的矿致异常。

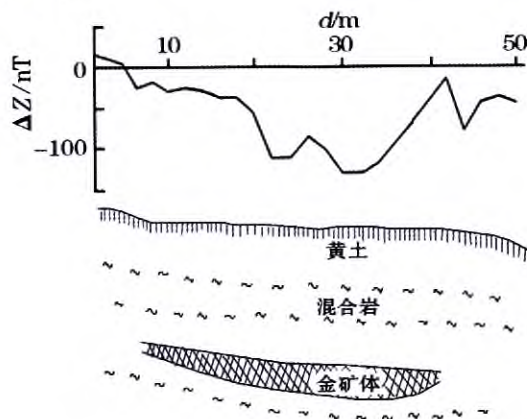
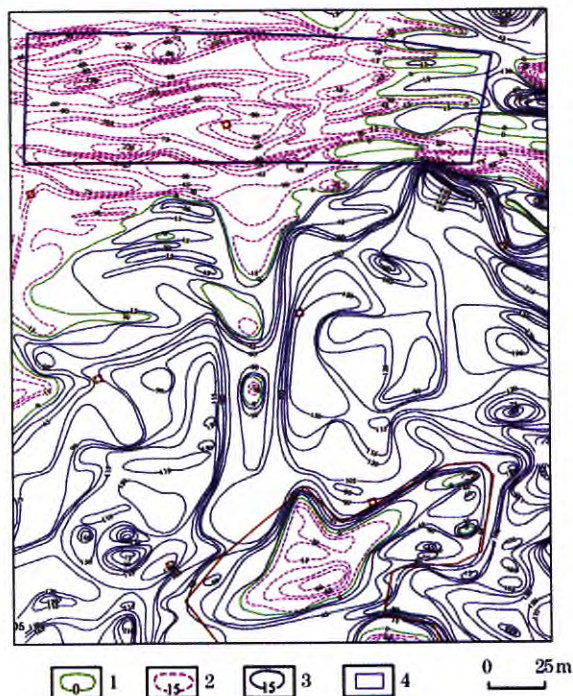


图 2 灵湖 S21 矿脉底面磁测  $\Delta Z$  等值线平面

随后对 S21 号脉进行了线距 20 m、点距 4 m 的面积性磁测,结果在测区南部(图 3 下部)圈出了一个面积约 700 m<sup>2</sup> 的“磁盆地”,幅值 -60 nT;在测区北部(图 3 上部)出现一宽 60 多米,长 200 余米的强负磁异常带(磁凹陷带),幅值 -120 nT。综合考虑上述 2 个负磁异常的埋深、规模大小及磁场剖面曲线特征,推断为矿体引起,并圈定出 2 个成矿预测区,估算金矿储量 429 kg。为了佐证磁法预测的准确性,又在 S21 号脉北部成矿预测区的西部磁异常中心(-120 nT)附近,做了 4 个激电测深点,η<sub>s</sub> 异常值最高达 39%,露头参数测定赋矿围岩 η<sub>s</sub> 值一般为 2.3% 左右。从电法角度证实了“磁凹陷带”确实为金矿引起,增强了矿山施工探矿坑道的信心,并在“磁凹陷带”内设计了近东西向的验证坑道一个<sup>[3]</sup>,结果提前见到了富金矿体,矿体厚 0.4 ~ 1.8 m,品位 (30 ~ 126) × 10<sup>-6</sup>,南预测区开采矿石品位约为 19 × 10<sup>-6</sup>,矿层较薄。经探采表明,截止 1996 年,北部成矿预测区已探明的金的金属量达 4 t 多,取得了小秦岭物探预测找金的突破,救活矿山一座。

### 3.1.2 高精度地面磁测

S202 号脉为小秦岭中矿带向北缓倾的以含金黄铁矿化为主的厚度较薄的石英脉型金矿床。1991 ~ 1992 年在 S202 脉施工穿脉探矿坑道,2 年内掘进 400 余米,亏损 65 万元。经地质观察,坑道已穿过



1—零等值线;2—负等值线;3—正等值线;4—预测金矿区

图 3 S21 矿脉西山坡磁测试验剖面

矿化构造带 10 多米,糜棱岩带厚约 1 m,在其顶板附近偶见零星黄铁矿化。通过做点距 2 m 的坑道磁测,在距坑道掌子面约 30 m 处出现幅值达 -1 500 nT 的负磁异常(图 4),推断为坑道下部金矿体引起。根据物探勘测成果,建议矿上打 10 余米沿脉坑道后,沿矿带倾斜方向掘进,结果在坑道下约 15 m 深处挖到了厚约 1.8 m、品位 80 × 10<sup>-6</sup> 的金及铅、铜等多金属硫化物富矿,采矿石 3 000 余吨。

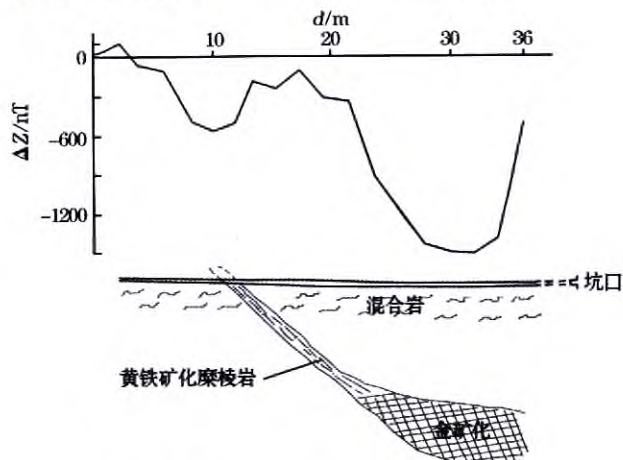


图 4 小秦岭 S202 金矿脉坑道磁测剖面

### 3.1.3 4 种物探方法相配合

大湖 F5 矿脉为小秦岭北矿带北倾的主要矿脉。为了了解其深部矿化情况,2008 年在 F5 上开展了大比例尺瞬变电磁测量、激电测深、高精度磁测和甚低频电磁测量。瞬变电磁测量观测参数为磁场变化率



( $dB/dT$ ), 用数据处理解释软件包 BETEM 求取磁场垂直分量( $B_z$ ), 用  $B_z$  计算全程视电阻率, 经一维反演、视电阻率成像变换, 求得不同深度的视电阻率数据; 激电测深采用多功能直流电法(激电)仪, 观测参数为视电阻率、视极化率等。测量结果见图 5。

图 5a 中可明显看到在 ZK1203 旁深部出现的  $10 \Omega \cdot m$  左右的陡立低阻异常, 图 5b 显示了直流激电测深  $\rho_s$  等值线在 ZK1203 旁侧深部显示的向下凹陷畸变, 反映有一陡立断层构造破碎带存在, 对应图

5c 直流激电测深  $\eta_s$  高值异常(3%~9%), 对应磁法  $\Delta Z$  低负值(-50~-100 nT)、甚低频电磁法高  $D$  异常( $10^\circ$ )。经分析推断, 认为在埋深 550~700 m(150~0 m 标高附近)地段可能存在金矿化体。后在该测深点旁验证施工了 ZK1203, 在孔深 160~0 m 标高处见含矿断裂破碎带, 在破碎带中 90、50、0 m 标高处见到了工业金矿体, 品位为  $(5.3 \sim 8) \times 10^{-6}$ , 厚度 0.77~1 m, 钻孔见矿深度与物探预测矿体深度基本吻合。

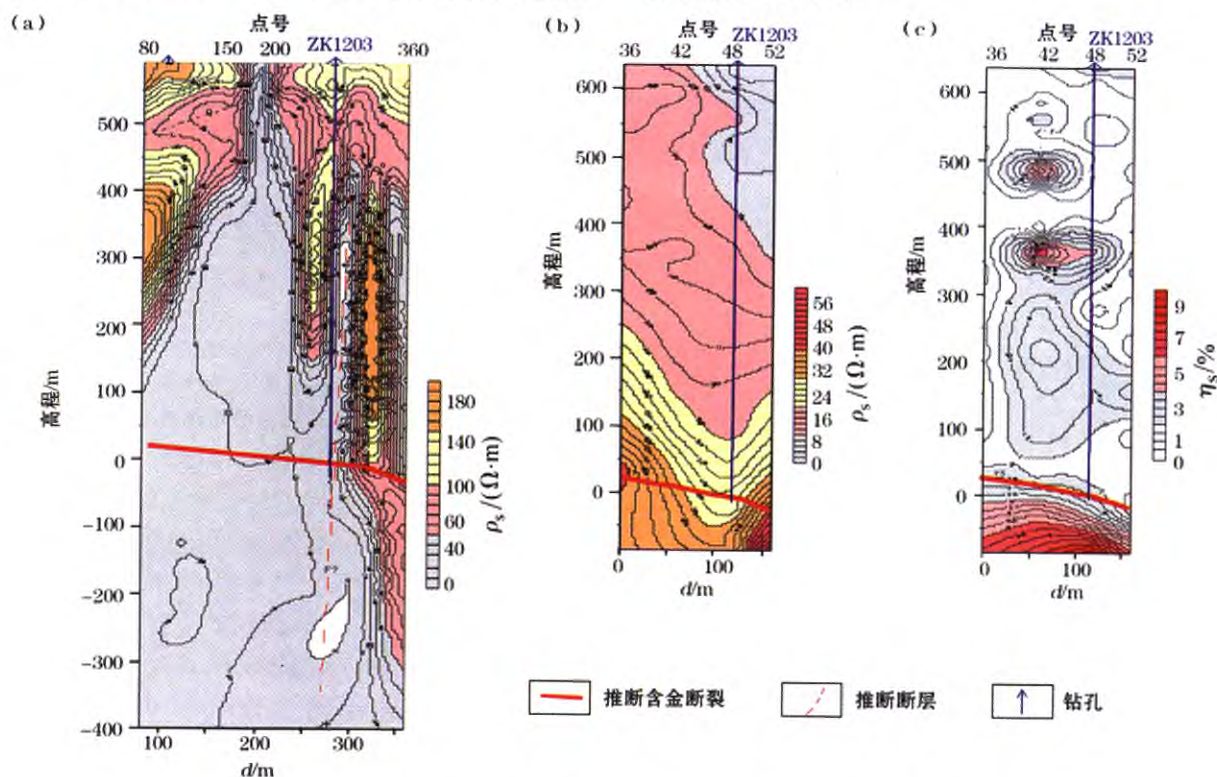


图 5 小秦岭大湖矿区 F5 瞬变电磁测量(a)、激电测深(b、c)断面

上述 3 个找矿实例表明, 隐伏富含硫化物石英脉型金矿体用大比例尺磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁测深、激电测深法均可取得好的找矿效果。

### 3.2 熊耳山—外方山地区物探预测找金效果

熊耳山—外方山金矿田属豫西金银钨多金属成矿带的中东段, 与小秦岭一样, 基底为太古宙变质杂岩, 近东西向和北东向控矿断裂及多期岩浆活动发育, 不同者, 熊耳山—外方山发育巨厚的中元古界熊耳群火山岩系等盖层。嵩县草宝山 F1 含金断裂带位于熊耳山—外方山金矿田之外方山东部, 多年来经地表探槽揭露及露头取样分析, 品位均在微量  $\sim 0.4 \times 10^{-6}$  之间变化, 找矿一直未能突破。经物探工作圈出异常后钻探验证, 发现隐伏金矿体。

F1 含金断裂分布于中元古界熊耳群马家河组地层内, 沿北西向呈带状分布, 区内出露长度逾 1 500 m, 宽度 10~70 m, 倾向北东, 倾角  $50^\circ \sim$

$80^\circ$ 。矿化体与构造蚀变带产状一致, 表现出明显的构造控矿特征。构造岩石主要为角砾岩、碎裂岩及糜棱岩等。断裂带内的矿化主要为含金黄铁矿等硫化物氧化形成的褐铁矿化, 围岩蚀变主要有绢云母化、硅化等, 其中褐铁矿化、硅化、绢云母化与成矿关系最为密切。矿体大致连续, 但金品位偏低, 矿体顶底板岩石为灰绿色安山岩, 具轻微褐铁矿化, 与构造带界线清楚, 与矿体界线不清楚。

为了寻找隐伏矿体, 2008 年在 F1 上开展了综合物探(磁法、甚低频电磁法、激电中梯、激电测深)预测找矿。根据 F1 露头发育硅化及矿化蚀变情况, 垂直矿带走向布设了 16 条测线, 线距 40 m, 每条测线长 150~200 m, 测点距 10 m, 沿走向控制矿带长度超过 600 m。

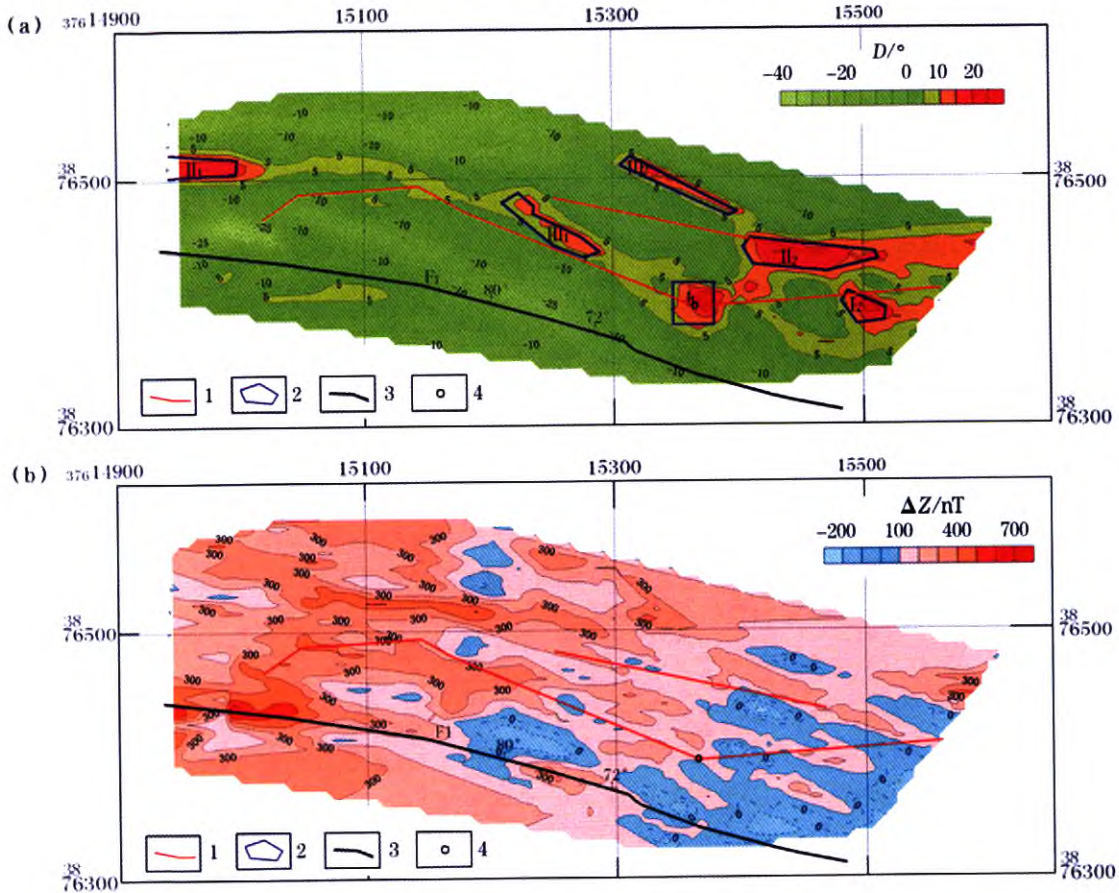
由测量成果可知, 矿带围岩安山岩等磁场值较高(100~700 nT), 甚低频倾角( $D$ )滤波值较低( $0^\circ$



~ -40°), 较高阻(1 485 ~ 4 965  $\Omega \cdot \text{m}$ ), 低极化( $\pm 1\%$ ); 含矿构造带的角砾岩、碎裂岩及糜棱岩磁性较弱或无磁性(磁异常 100 ~ 300 nT)、 $\rho_s$  明显降低(33 ~ 803  $\Omega \cdot \text{m}$ ); 含金性较好的褐铁矿化带(体) $\rho_s$  较低(173 ~ 803  $\Omega \cdot \text{m}$ ), 无磁性,  $D$  滤波值较高(10° ~ 25°),  $\eta_s$  较高(1.1% ~ 5.23%)。含矿带与围岩相比, 具明显的低磁、低阻、高倾角、高极化

异常特征。

图 6 给出了物探测量部分成果。根据地质物探资料综合分析,  $D$  滤波 10° 以上(图 6a 中粉红色区域)为高值异常,  $\Delta Z_a$  在 100 ~ 700 nT 内(图 6b 中蓝色区域)为低值磁异常。为了解矿带深部矿化蚀变强度, 在主要异常部位开展了对称四极激电测深及激电中梯测量工作。



1—中梯剖面线;2—预测成矿带;3—F1 断裂成矿带;4—钻探孔

图 6 嵩县草宝山矿区(F1)甚低频倾角滤波(a)、磁测  $\Delta Z_a$ (b)等值线平面

根据综合异常特征及地质情况<sup>[4]</sup>, 在甚低频倾角( $D$ )滤波平面等值线图上将测区划分为 3 类异常共 6 个找矿靶区: I 1、I 2、II 1、II 2、III 1、III 2(图 6a)。其中, I 1 号异常的 10° ~ 25° 高值异常对应 50 ~ 100 nT 的低值磁异常, 2 条激电中梯剖面在该处有较明显的低阻、高激电异常显示,  $\eta_s$  值在 2.1% ~ 4.6%, 激电测深亦有较明显的异常。

图 7 为 I 1 号异常中心激电测深曲线。该点在  $AB/2$  为 30 ~ 45、75 ~ 120、150 ~ 210 m 范围内呈低阻, 高极化异常明显,  $\eta_s$  为 1.2% ~ 1.5%, 主要异常位于 150 ~ 210 m。推断在这 3 个深度段内矿化较强, 主要矿化体埋深在 150 ~ 210 m。

其余几个找矿靶区的物探异常也都能相互对应。

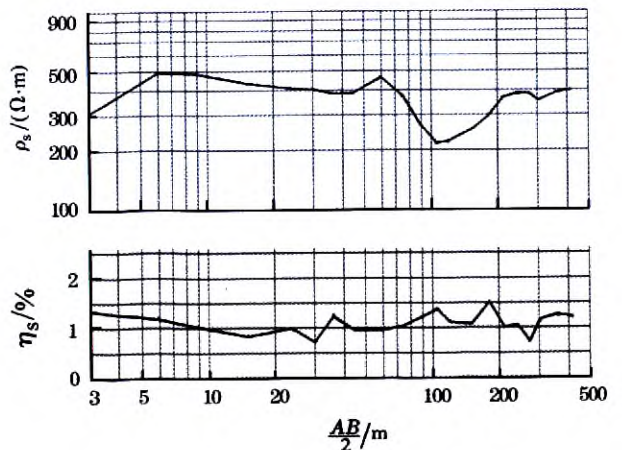


图 7 草宝山矿区 I 1 号异常中心点测深曲线

根据物探解释成果,先在 I 1 号异常中心进行了钻探,见到含金黄铁、褐铁矿化,金含量在 34.96 ~ 110.26 m 深度范围内为  $(1.04 \sim 2.03) \times 10^{-6}$ 、132.9 ~ 144.59 m 深度内为  $(1.14 \sim 2.91) \times 10^{-6}$ 、158.59 ~ 163.79 m 深度内为  $(2.34 \sim 3.71) \times 10^{-6}$ ,物探推断与钻探验证结果基本吻合。2010 年矿方又在 I 1、I 2 号异常施工 3 个钻孔,均见到较好的矿体。

#### 4 结论

物探方法主要用于了解深部地质情况,探测浅—深部隐伏、半隐伏盲矿体。在金矿找矿工作中,在具备地球物理前提的条件下,用磁法、甚低频电磁(或瞬变电磁)法快速扫面测量可圈定找矿靶区(异常区),在找矿靶区做一定量对称四极激电测深工

作,可预测矿体埋藏深度等,为钻探、坑道工程验证提供深部地球物理依据。上述物探方法在豫西小秦岭、熊耳山—外方山和崤山地区的金矿预测找矿工作中取得了明显的效果,应当继续推广应用。在其他类似条件地区也可以应用。

#### 参考文献:

- [1] 史元盛. 金矿地球物理找矿[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989.
- [2] 杨守渠,毕炳坤,乔刚. 小秦岭深部成矿规律与成矿预测物探工作报告[R]. 河南省第一地质调查队, 2008.
- [3] 杨守渠. 小秦岭大比例尺磁测找金效果[J]. 豫西地质, 1990.
- [4] 杨守渠,毕炳坤,乔刚. 河南省嵩县草宝山矿区金矿物探找矿预测报告[R]. 洛阳地质工程勘察设计院, 2008.
- [5] 郑振云,刘召军,吕伟星. 甘肃寨上矿区地物化信息找矿效果[J]. 物探与化探, 2008, 32(6).

## THE APPLICATION OF GEOPHYSICAL EXPLORATION TO THE PROSPECTING FOR CONCEALED GOLD DEPOSITS IN WESTERN HENAN

YANG Shou-qu<sup>1</sup>, QIAO Gang<sup>1</sup>, LI Ping<sup>1</sup>, YUAN Wen-ting<sup>1</sup>, ZHANG Bing-shun<sup>2</sup>, GUO Jian-yong<sup>2</sup>

(1. No. 1 Geological Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Luoyang 471023, China; 2. Lingbao Jinyuan Mining Co., Ltd., Lingbao 472500, China)

**Abstract:** In combination with geological conditions, this paper deals briefly with the different characteristics and roles of magnetic method, very low frequency method, transient electromagnetic method and IP sounding method in the ore-prospecting work. Some successful case studies of the prospecting for concealed ore bodies in some gold ore districts of western Henan are presented in this paper, which show that the rapid scanning survey by using magnetic method and very low frequency method (or VLF-EM method) can delineate ore-prospecting target areas, and the symmetric quadrupole IP sounding method can be used to predict buried depth of the ore body. These methods are effective means for economic and rapid detection of shallow-deep concealed and semi-concealed blind ore bodies and hence deserve widespread application.

**Key words:** gold deposit; magnetic method; very low frequency method; transient electromagnetic method; IP sounding; concealed ore body

**作者简介:** 杨守渠(1957-),男,洛阳地质工程勘察设计院总工,长期从事科研、物探找矿、地热勘查工作,已发表论文 10 余篇,合著专著一本。